云 南 植 物 研 究 2008, 30 (4): 405～421
Acta Botanica Yunnanica DOI: 10.3724 SP.J.1143.2008.07268

中国无患子科的叶表皮特征及其系统学意义*

曹丽敏[1,2], 夏念和[1**]
(1 中国科学院华南植物园经济植物研究所, 广东 广州 510650; 2 衡阳师范学院生命科学系, 湖南 衡阳 421008; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 在光学显微镜和扫描电镜下, 对狭义无患子科 25 属 33 种植物以及七叶树科 2 种植物和槭树科 2 属 4 种植物的叶表皮特征进行了观察, 发现这三科植物叶表皮细胞形状为多边形或无规则形, 垂周壁一般为平直、弓形或浅波状。气孔器主要有 6 种类型, 通常仅分布在下表皮 (倒地铃 *Cardiospermum halicacabum* 和伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei* 偶尔可在上表皮观察到), 除无规则型 (如波叶异木患 *Allophylus caudatu*、掌叶木 *Handeliodendron bodinieri*、茶条木 *Delavaya toxocarpa* 等 16 种) 最为常见外, 辐射型 (细子龙 *Amesiodendron chinense*、七叶树 *Aesculus chinensis*、金钱槭 *Dipteronia sinensis* 等 11 种) 和环列型 (如龙眼 *Dimocarpus longan*、荔枝 *Litchi chinensis*、韶子 *Nephelium chryseum* 等 6 种) 也较为普遍, 短平列型 (赛木患 *Aphania oligophylla*、绒毛番龙眼 *Pometia tomentosa*、干果木 *Xerospermum bonii*、假山萝 *Harpullia cupaniodes*) 和十字型 (广西檀栗 *Pavieasia kwangsiensis*) 仅在少数几属中出现, 不等细胞型仅出现在倒地铃 *Cardiospermum halicacabum* 中。在扫描电镜下, 角质层多具有条纹、鳞片或颗粒等特征; 三科植物的气孔外拱盖内缘大多为浅波状。本文试图通过对三科的叶表皮特征, 尤其是气孔器类型等形态特征的观察, 寻求有意义的叶表皮性状, 为进一步探讨无患子科尤其是掌叶木属、茶条木属与七叶树科乃至与槭树科亲缘关系提供资料。研究结果从叶表皮特征的角度说明了这三个科在系统上的密切联系。

关键词: 无患子科; 七叶树科; 槭树科; 叶表皮; 系统学意义
中图分类号: Q 944, Q 949 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-2700 (2008) 04-405-17

Structural Characters of Leaf Epidermis and Their Systematic Significance in Sapindaceae from China

CAO Li-Min[1,2], XIA Nian-He[1**]
(1 *Institute of Economic Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences*, Guangzhou 510650, China;
2 *Department of Life Sciences, Hengyang Normal University*, Hengyang 421008, China;
3 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100049, China)

Abstract: Leaf epidermis of 33 species representing 25 genera of Sapindaceae, 2 species of Hippocastanaceae and 4 species of 2 genera of Aceraceae was investigated using light microscopy (LM) and scanning electron microscopy (SEM). The shapes of leaf epidermal cells of these three families are usually polygonal or irregular; the patterns of anticlinal walls are straight, arched or sinuolate. The stomatal apparatuses, only present on the abaxial epidermis for all sampled species (except for *Cardiospermum halicacabum* and *Eurycorymbus cavaleriei*), can be assigned into six types. The anomocytic type, occurring in 16 species (*Allophylus caudate*, *Handeliodendron bodinieri*, and *Delavaya toxocarpa*, etc.) is very common; the actinocytic type, occurring in 11 species (*Amesiodendron chinense*, *Aesculus chinensis*, *Dipteronia sinensis*, etc.), and the cyclocytic type, occurring in 6 species (*Dimocarpus longan*, *Litchi chinensis*, *Nephelium chryseum*) are comparatively

* 基金项目: 中国科学院华南植物园资助
** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: nhxia@scib.ac.cn
收稿日期: 2007-11-15, 2008-01-21 接受发表
作者简介: 曹丽敏 (1970-) 女, 湖南郴州人, 博士, 主要从事系统与演化植物学研究。

common; whereas the other three types can be considered diagnostic of several genera, such as hemiparacytic type for *Aphania oligophylla*, *Pometia tomentosa* and *Xerospermum bonii*, *Harpullia cupaniodes*, staurocytic type mainly for *Pavieasia kwangsiensis*, and anisocytic type only for *Cardiospermum halicacabum*. Under SEM the cuticular layer of the leaf epidermis is striated, scaly or granular; the inner margin of outer stomatal rim of most species of these three families is undulate. The close relationships among Sapindaceae, Hippocastanaceae and Aceraceae are supported by the evidence from leaf epidermis.

Key words: Sapindaceae; Hippocastanaceae; Aceraceae; Leaf epidermis; Systematic significance

无患子科 (Sapindaceae) (狭义) 约有150属，约2 000种，分布于热带和亚热带地区，我国有25属53种2亚种3变种，多数分布在西南至东南部，北部很少 (侯宽昭和何椿年，1955；罗献瑞和陈德昭，1979，1985；夏念和和罗献瑞，1995；吴征镒等，2003)。该科不少种类具有重要的经济价值。国内外对无患子科植物的化学成分、繁殖习性等方面的研究比较多，而对其他方面的研究较少。迄今为止，只有少数植物学家对无患子科植物叶表皮特征及其系统学意义进行过研究 (Radlkofer，1886，1890；Solereder，1908；Buijsen，1995)。

许多研究发现叶表皮性状在一定程度上能反映分类群间的系统发生，可用于科下属间关系的探讨，叶表皮及叶结构特征作为一个重要的分类和系统演化的性状已用于多个类群的研究并取得较好的效果 (陈之端和张志耘，1991；Wilkinson，1992；洪亚平等，2001；任辉等，2003；陆嘉惠等，2005；李爱花等，2005；杨汉奇等，2006)。

本研究选取中国无患子科 (狭义) 25属33种植物，其近缘科七叶树科 (Hippocastanaceae) 1属2种植物以及槭树科 (Aceraceae) (方文培，1981a，b) 2属4种植物，分别在光学显微镜和扫描电镜下，对它们的叶表皮细胞形状、气孔器类型和角质层等特征进行观察，寻求有意义的叶表皮性状，为进一步探讨无患子科植物的科下分类和属间关系，以及为探讨无患子科与七叶树科及槭树科的亲缘关系提供资料。

1 材料和方法

实验材料为腊叶标本上的成熟叶片。实验所用材料大部分来自中国科学院华南植物园标本馆 (IBSC)，一部分采自广西植物研究所标本馆 (IBK) (表1)。

从叶片脉间区域上剪取若干约1 cm×1 cm的小块，沸水浴30 min，放入铬酸-硝酸离析液 (20%铬酸∶20%硝酸=1∶1) 中浸泡至叶片发白后取出，蒸馏水冲洗后剥离上下表皮，用1%番红染色，甘油胶封片，在Olympus Ax70光学显微镜下观察并照相。每个种的气孔器在40倍光镜下统计4～5个视野。

扫描电镜下观察的材料先用毛笔蘸95%乙醇将叶片轻轻擦拭，除去灰尘，剪成小方块，用双面胶固定在样品台上，然后用JEOL JFC-1600离子溅射仪喷金，在JEOL JSM-5910扫描电镜下观察和照相。

本文所用描述气孔类型的术语参考Wilkinson (1979)，表皮细胞其他特征类型的术语参考Dilcher (1974)。

2 观察结果

同种植物叶片的上、下表皮在结构上差异较大，但上、下表皮的细胞形状多数都是相同或相似的。

2.1 光学显微镜下的叶表皮特征

光学显微镜下观察了狭义无患子科25属33种植物、七叶树科1属2种植物以及槭树科2属4种植物的叶表皮，观察结果详见表2。

2.1.1 表皮毛 在所研究的类群中，细子龙、龙州细子龙、伞花木 (图版Ⅰ：14) 的上表皮具毛；复叶栾树、文冠果、波叶异木患下表皮具毛；异木患 (图版Ⅰ：2)、毛叶异木患、车桑子、海南柄果木、倒地铃、干果木 (图版Ⅰ：7)、赤才、鳞花木、*Lepisanthes montana*、爪耳木、川滇无患子、广西檀栗上下表皮均具毛，海南假韶子下表皮叶脉处具少量毛，其他类群不具毛。

2.1.2 表皮细胞形状和垂周壁式样 所观察的无患子科植物 (及其近缘科植物) 的叶表皮细胞大致可分为不规则形 (irregular) 和多边形 (polygonal) 两种类型。

不规则形细胞 (图版Ⅰ：1～17，19；图版Ⅱ：20～23) 依垂周壁波状起伏的程度分为浅波状 (sinuolate) 和波状 (sinuous) 两种。

多边形细胞 (图版Ⅰ：18，图版Ⅱ：24～32) 的垂周壁式样一般有两种：平直 (straight) 和弓形 (arched)。

表 1　材料来源

Table 1　Source of materials

种名 Species	采集地 Locality	凭证标本 Voucher
倒地铃 *Cardiospermum halicacabum*	华南植物园 South China Botanical Garden	叶华谷等 (Ye Huagu *et al.*) 380 (IBSC)
异木患 *Allophylus viridis*	华南植物园 South China Botanical Garden	胡启明 (Hu Qiming) 7277 (IBSC)
波叶异木患 *A. caudatus*	广西龙州 Longzhou, Guangxi	苏宏汉 (Su Honghan) 68514 (IBSC)
长柄异木患 *A. longipes*	云南西双版纳 Xishuangbanna, Yunnan	李延辉 (Li Yanhui) 1629 (IBK)
海滨异木患 *A. timorensis*	海南 Hainan	黄志 (Huang Zhi) 34794 (IBK)
毛叶异木患 *A. trchophyllus*	海南 Hainan	黄志 (Huang Zhi) 34264 (IBK)
无患子 *Sapindus mukorossi*	广东林业科学研究所 Guangdong Forestry Institute	广东木材调查组 (Guangdong Wood Exped .) 398 (IBSC)
川滇无患子 *S. delavayi*	云南澄江 Chengjiang, Yunnan	王孝 (Wang Xiao) 40462 (IBSC)
赤才 *Erioglossum rubiginosum*	海南万宁 Wanning, Hainan	邢福武等 (Xing Fuwu *et al.*) 6149 (IBSC)
赛木患 *Aphania oligophylla*	海南万宁 Wanning, Hainan	邢福武等 (Xing Fuwu *et al.*) 5807 (IBSC)
鳞花木 *Lepisanthes hainanensis*	海南崖县 Yaxian, Hainan	李泽贤, 邢福武 (Li Zexian, Xing Fuwu) 1289 (IBSC)
L. montana	海南吊罗 Diaoluo, Hainan	海南吊罗队 (Hainan Diaoluo Exped .) 2468 (IBK)
爪耳木 *Otophora unilocularis*	海南崖县 Yaxian, Hainan	刘心祈 (Liu Xinqi) 5733 (IBSC)
龙眼 *Dimocarpus longan*	海南坝王岭 Bawang Mountains, Hainan	李泽贤, 邢福武 (Li Zexian, Xing Fuwu) 71 (IBSC)
龙荔 *D. confinis*	广西横县 Hengxian, Guangxi	陈照宙 (Chen Zhaozhou) 50291 (IBK)
荔枝 *Litchi chinensis*	海南万宁 Wanning, Hainan	邢福武等 (Xing Fuwu *et al.*) 6049 (IBSC)
韶子 *Nephelium chryseum*	广东鼎湖 Dinghu, Guangdong	黄成 (Huang Cheng) 162727 (IBSC)
绒毛番龙眼 *Pometia tomentosa*	云南西双版纳 Xishuangbanna, Yuannan	冯国楣 (Feng Guomei) 20661 (IBSC)
干果木 *Xerospermum bonii*	广西东兴 Dongxing, Guangxi	广西林业厅 (Guangxi Forestry Bureau) 46337 (IBSC)
滨木患 *Arytera littoralis*	广东徐闻 Xuwen, Guangdong	南路 (Nan Lu) 0049 (IBSC)
海南柄果木 *Mischocarpus hainanensis*	海南陵水 Lingshui, Hainan	匿名 (Anonymous) 2585 (IBSC)
广西檀栗 *Pavieasia kwangsiensis*	广西龙津 Longjin, Guangxi	黄德爱 (Huang Deai) 61550 (IBSC)
细子龙 *Amesiodendron chinense*	海南乐东 Ledong, Hainan	刘心祈 (Liu Xinqi) 26835 (IBSC)
龙州细子龙 *A. integrifoliolatum*	广西大新 Daxin, Guangxi	王善龄 (Wang Shanling) 6 (IBK)
海南假韶子 *Paranephelium hainanensis*	海南屯昌 Tunchang, Hainan	李泽贤, 邢福武 (Li Zexian, Xing Fuwu) 6064 (IBSC)
复叶栾树 *Koelreuteria bipinnata*	广州中大植物研究所 Botanical Institute of Zhongshan University, Guangzhou	陈少卿 (Chen Shaoqing) 7966 (IBSC)
车桑子 *Dodonaea viscosa*	四川会理 Huili, Sichuan	胡启明 (Hu Qiming) 9806 (IBSC)
掌叶木 *Handeliodendron bodinieri*	贵州荔波 Libo, Guizhou	许兆然 (Xu Zhaoran) L1527 (IBSC)
黄梨木 *Boniodendron minus*	广东肇庆 Zhaoqing, Guangdong	石国良 (Shi Guoliang) 13443 (IBSC)
伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei*	广东连山 Lianshan, Guangdong	谭沛祥 (Tan Peixiang) 58172 (IBSC)
假山萝 *Harpullia cupaniodes*	海南崖州 Yazhou, Hainan	侯宽昭 (Foon-Chew How) 48670 (IBSC)
茶条木 *Delavaya toxocarpa*	广西龙津 Longjin, Guangxi	张肇骞 (Zhang Zhaoqian) 12795 (IBSC)
文冠果 *Xanthoceras sobifolia*	北京西郊公园 Xijiao Garden, Beijing	赵福 (Zhao Fu) 0041 (IBSC)
七叶树 *Aesculus chinensis*	河南西歧 Xiqi, Henan	河南队 (Henan Exped .) 928 (IBSC)
天师栗 *A. wilsonii*	云南法斗 Fadou, Yunnan	钟补勤, 匡可任 (Zhong Buqin, Kuang Keren) 462 (IBSC)
锐角槭 *Acer acutum*	浙江昌化 Changhua, Zhejiang	贺贤育 (He Xianyu) 1318 (IBSC)
樟叶槭 *A. cinnamomifolium*	台湾南投县 Nantou, Taiwan	王秋美等 (Wang Qiumei *et al.*) 03187 (IBSC)
葛萝槭 *A. grosseri*	陕西商南 Shangnan, Shaanxi	郭本兆 (Guo Benzhao) 4003 (IBSC)
金钱槭 *Dipteronia sinensis*	河南嵩县 Songxian, Henan	吴克俭 (Wu Kejian) 2391 (IBSC)

掌叶木 (图版Ⅲ: 43) 的叶表皮细胞呈多边形, 垂周壁平直; 茶条木 (图版Ⅲ: 45) 的叶表皮细胞呈不规则形, 垂周壁浅波状。

2.1.3　气孔器

2.1.3.1　气孔器分布位置　无患子科植物 (及其近缘科植物) 的气孔器大多数比较密集地分布于下表皮, 以无规则型最为常见。在我们所取实验材料中, 仅倒地铃属 (图版Ⅰ: 1) 在上表皮分布有稀疏且不均匀的气孔器, 呈不等细胞型, 伞花木 (图版Ⅰ: 14) 的上表皮也零星分布着极少的气孔, 但下表皮的气孔器数目明显多于上表皮。其他类群仅在下表皮分布有气孔器。

2.1.3.2　叶片气孔器的类型 (type of stomatal apparatus)　依据下表皮气孔器的副卫细胞的形状、数目和排列, 无患子科植物的气孔器主要有6种类型:

(A) 无规则型 (anomocytic): 不规则气孔或异常气孔, 没有副卫细胞的一种气孔类型。围绕保卫细胞的副卫细胞与表皮细胞无区别, 这是无患子科植物气孔器的主要类型。该类型主要存在

表2　在光学显微镜下无患子科（及其近缘科）植物叶表皮的特征

Table 2　Leaf epidermal characters of the Sapindaceae (and the relative families) under LM

分类群 Taxon	上表皮 Adaxial epidermis		下表皮 Abaxial epidermis		气孔器类型 Type of stomatal apparatus	其他少量气孔器类型 Other types of stomatal apparatus occasionally observed	图版 Plates
	细胞形状 Shape of cells	垂周壁式样 Pattern of anticlinal wall	细胞形状 Shape of cells	垂周壁式样 Pattern of anticlinal wall			
倒地铃 *Cardiospermum halicacabum*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	不等细胞型 anisocytic	-	Ⅰ：1， Ⅲ：55
异木患 *Allophylus viridis*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	无规则型 anomocytic	短平列型 hemiparacytic	Ⅰ：2， Ⅱ：33
波叶异木患 *A. caudatus*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	无规则型 anomocytic	-	Ⅰ：3， Ⅲ：47
长柄异木患 *A. longipes*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	无规则型 anomocytic	-	
海滨异木患 *A. timorensis*	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	无规则型 anomocytic	-	
毛叶异木患 *A. trchophyllus*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	无规则型 anomocytic	-	
无患子 *Sapindus mukorossi*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	辐射型 actinocytic	短平列型 hemiparacytic	Ⅰ：4， Ⅱ：34
川滇无患子 *S. delavayi*	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	辐射型 actinocytic	环列型 cyclocytic	Ⅱ：25
赤才 *Erioglossum rubiginosum*	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	无规则型 anomocytic	-	Ⅱ：26， Ⅲ：48
赛木患 *Aphania oligophylla*	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	短平列型 hemiparacytic	十字型 staurocytic	Ⅱ：23， Ⅱ：35
鳞花木 *Lepisanthes hainanensis*	多边形 polygonal	平直 straight	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	辐射型 actinocytic	无规则型 anomocytic	Ⅱ：27， Ⅱ：36
L. montana	多边形 polygonal	平直 straight	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	辐射型 actinocytic	-	
爪耳木 *Otophora unilocularis*	多边形 polygonal	平直 straight	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	辐射型 actinocytic	短平列型 hemiparacytic	Ⅰ：16， Ⅱ：37
龙眼 *Dimocarpus longan*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	环列型 cyclocytic	-	Ⅰ：5， Ⅳ：79
龙荔 *D. confinis*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	环列型 cyclocytic	-	
荔枝 *Litchi chinensis*	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	环列型 cyclocytic	-	Ⅱ：28， Ⅳ：80
韶子 *Nephelium chryseum*	多边形 polygonal	平直 straight	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	环列型 cyclocytic	-	Ⅱ：29， Ⅳ：81
绒毛番龙眼 *Pometia tomentosa*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	短平列型 hemiparacytic	无规则型 anomocytic	Ⅰ：6
干果木 *Xerospermum bonii*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	短平列型 hemiparacytic	十字型 staurocytic	Ⅰ：7， Ⅱ：38
滨木患 *Arytera littoralis*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	无规则型 anomocytic	-	Ⅰ：8， Ⅲ：49
海南柄果木 *Mischocarpus hainanensis*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	环列型 cyclocytic	十字型 staurocytic	Ⅰ：9， Ⅱ：39
广西檀栗 *Pavieasia kwangsiensis*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	十字型 staurocytic	-	Ⅰ：10， Ⅲ：40
细子龙 *Amesiodendron chinense*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	辐射型 actinocytic	短平列型 hemiparacytic	Ⅰ：11， Ⅲ：41

续表 2

分类群 Taxon	上表皮 Adaxial epidermis		下表皮 Abaxial epidermis		气孔器类型 Type of stomatal apparatus	其他少量气孔器类型 Other types of stomatal apparatus occasionally observed	图版 Plates
	细胞形状 Shape of cells	垂周壁式样 Pattern of anticlinal wall	细胞形状 Shape of cells	垂周壁式样 Pattern of anticlinal wall			
龙州细子龙 *A. integrifoliolatum*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	辐射型 actinocytic	-	
海南假韶子 *Paranephelium hainanensis*	不规则形 irregular	波状 sinuous	不规则形 irregular	波状 sinuous	无规则型 anomocytic	-	Ⅰ: 12, Ⅲ: 50
复叶栾树 *Koelreuteria bipinnata*	多边形 polygonal	平直 straight	多边形 polygonal	平直 straight	无规则型 anomocytic	-	Ⅱ: 30
车桑子 *Dodonaea viscosa*	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	环列型 cyclocytic	-	Ⅱ: 31, Ⅲ: 42
掌叶木 *Handeliodendron bodinieri*	多边形 polygonal	平直 straight	多边形 polygonal	平直 straight	无规则型 anomocytic	-	Ⅰ: 18, Ⅲ: 43
黄梨木 *Boniodendron minus*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	无规则型 anomocytic	辐射型 actinocytic	Ⅰ: 13, Ⅲ: 46
伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	无规则型 anomocytic	-	Ⅰ: 14, Ⅲ: 51
假山萝 *Harpullia cupaniodes*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	短平列型 hemiparacytic	辐射型 actinocytic	Ⅰ: 15, Ⅲ: 44
茶条木 *Delavaya toxocarpa*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	无规则型 anomocytic	-	Ⅰ: 17, Ⅲ: 45
文冠果 *Xanthoceras sobifolia*	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	多边形 polygonal	平直或弓形 straight or arched	无规则型 anomocytic	-	Ⅱ: 32
七叶树 *Aesculus chinensis*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	辐射型 actinocytic	-	Ⅰ: 19
天师栗 *A. wilsonii*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	辐射型 actinocytic	-	Ⅱ: 20, Ⅲ: 52
锐角槭 *Acer acutum*	多边形 polygonal	平直 straight	多边形 polygonal	平直 straight	无规则型 anomocytic	-	Ⅱ: 24
樟叶槭 *A. cinnamomifolium*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	无规则型 anomocytic	-	Ⅱ: 22, Ⅲ: 54
葛萝槭 *A. grosseri*	多边形 polygonal	平直 straight	多边形 polygonal	平直 straight	辐射型 actinocytic	无规则型 anomocytic	
金钱槭 *Dipteronia sinensis*	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	不规则形 irregular	浅波状 sinuolate	辐射型 actinocytic	-	Ⅱ: 21, Ⅲ: 53

于下列 11 属 12 种植物种：异木患（图版Ⅱ：33），波叶异木患（图版Ⅲ：47），长柄异木患，海滨异木患，毛叶异木患，滨木患（图版Ⅲ：49），赤才（图版Ⅲ：48），复叶栾树，黄梨木（图版Ⅲ：46），伞花木（图版Ⅲ：51），海南假韶子（图版Ⅲ：50），茶条木（图版Ⅰ：17，版Ⅲ：45），掌叶木（图版Ⅲ：43），文冠果。

（B）环列型（cyclocytic）：副卫细胞形成 1 个环包围着保卫细胞。主要存在于龙眼，龙荔，荔枝，韶子，海南柄果木（图版Ⅱ：39），车桑子（图版Ⅲ：42），共 5 属 6 种。

（C）辐射型（actinocytic）：保卫细胞被多少有些放射状伸长的副卫细胞包围。这类气孔器存在于无患子（图版Ⅱ：34），川滇无患子，细子龙（图版Ⅲ：41），龙州细子龙，鳞花木（图版Ⅱ：36），Lepisanthes Montana，爪耳木（图版Ⅱ：37）。

（D）短平列型（hemiparacytic）：2 个副卫细胞在侧翼与保卫细胞的边缘相连，但不完全包围保卫细胞，与保卫细胞长轴平行。主要存在于赛木患（图版Ⅱ：35），绒毛番龙眼，干果木（图版Ⅱ：38），假山萝（图版Ⅲ：44），共 4 属 4 种。异木患（图版Ⅱ：33）、细子龙中（图版Ⅲ：

41）中偶尔可见短平列型气孔器。

(E) 十字型 (staurocytic)：保卫细胞由3～5个与保卫细胞成直或斜十字形排列的副卫细胞所包围。主要存在于广西檀栗（图版Ⅲ：40）中，此外，在赛木患（图版Ⅱ：35），干果木（图版Ⅱ：38），海南柄果木（图版Ⅱ：39）中也偶尔可见十字型气孔器。

(F) 不等细胞型 (anisocytic)：三个副卫细胞组成单环包围着保卫细胞，其中一个副卫细胞比另外两个明显地小。这种类型只在倒地铃中（图版Ⅲ：55）发现。

锐角槭、樟叶槭（图版Ⅲ：54）的气孔器是不规则型；七叶树、天师栗（图版Ⅲ：52）、葛萝槭、金钱槭（图版Ⅲ：53）的气孔器为辐射型。

气孔器分布式样在无患子科及其近缘科植物中可区分为散生型 (diffuse pattern) 和岛状聚集型 (island congregating pattern) 两种。除龙眼、龙荔、荔枝、韶子、海南假韶子、细子龙、龙州细子龙、广西檀栗（图版Ⅲ：40）、无患子（图版Ⅱ：34）、茶条木等的气孔器为岛状聚集型外，其余均为散生型。

2.2 在扫描电镜下的叶表皮特征

在扫描电镜下观察了我们对狭义无患子科25属27种植物、七叶树科1属2种植物以及槭树科2属4种植物的叶表皮，结果详见表3。

2.2.1 角质层特征

根据上下表皮的角质层特征可划分为：

(A) 角质层近平滑，或具少量颗粒和鳞片，如荔枝（图版Ⅳ：75，76）、赤才（图版Ⅳ：56）、赛木患（图版Ⅳ：57）。

(B) 角质层具有大量波状条纹、条状隆起或环状隆起，有少量颗粒，存在于绒毛番龙眼（图版Ⅳ：59）、鳞花木（图版Ⅳ：60）、广西檀栗（图版Ⅳ：61）、异木患（图版Ⅳ：62）、车桑子（图版Ⅳ：63）和葛萝槭中。

(C) 角质层具大量鳞片和颗粒，存在于滨木患（图版Ⅳ：65）、复叶栾树（图版Ⅳ：66）和爪耳木（图版Ⅳ：67）中。

(D) 角质层具条纹和颗粒，存在七叶树（图版Ⅳ：68）和茶条木（图版Ⅳ：69）中。

(E) 角质层少量条纹和颗粒，如掌叶木（图版Ⅳ：70）。

2.2.2 气孔器外拱盖内缘的特征

根据所观察植物叶表皮的气孔器外拱盖内缘特征，可分为3类：

(A) 气孔器外拱盖内缘近平滑，如倒地铃（图版Ⅴ：82），鳞花木（图版Ⅴ：83），滨木患（图版Ⅴ：84），海南柄果木（图版Ⅴ：85），广西檀栗（图版Ⅴ：86），海南假韶子（图版Ⅴ：87），复叶栾树（图版Ⅴ：88），黄梨木（图版Ⅴ：89）等。茶条木（图版Ⅴ：90）和锐角槭（图版Ⅴ：91）也属此类型。

(B) 气孔器外拱盖内缘浅波状，如异木患（图版Ⅴ：92），波叶异木患（图版Ⅴ：93），无患子（图版Ⅴ：94），川滇无患子（图版Ⅴ：95），赤才（图版Ⅴ：96），赛木患（图版Ⅵ：97），爪耳木（图版Ⅵ：98），绒毛番龙眼（图版Ⅵ：99），干果木（图版Ⅵ：100），细子龙（图版Ⅵ：101），车桑子（图版Ⅵ：102），伞花木（图版Ⅵ：104），假山萝（图版Ⅵ：105）等。掌叶木（图版Ⅵ：103），七叶树（图版Ⅵ：106），天师栗（图版Ⅵ：107），葛萝槭（图版Ⅵ：108），金钱槭（图版Ⅵ：109）的气孔器外拱盖内缘也呈浅波状。

(C) 气孔器外拱盖内缘波状，只有文冠果（图版Ⅵ：111）和樟叶槭（图版Ⅵ：110）2种。

2.2.3 保卫细胞特征

保卫细胞两极大多数没有明显的“T”型加厚，仅倒地铃、锐角槭、掌叶木、假山萝、七叶树、天师栗的“T”型加厚较明显。

3 讨论

对狭义无患子科33种植物以及七叶树科2种植物和槭树科4种植物的叶表皮特征研究的结果（表2，3）表明：以下叶表皮特征在无患子科、七叶树科和槭树科植物中是非常一致的：(A) 大多数属上表皮细胞是无规则形，垂周壁波状或浅波状。(B) 气孔器外拱盖内缘大多浅波状或近平滑。(C) 叶片表面角质层大多具条纹及颗粒或鳞片等附属物。(D) 保卫细胞两极大多没有“T”型加厚。

3.1 气孔器类型的多样性

在讨论叶表皮的性状，尤其是气孔器的结构和系统发育关系时，Wilkinson (1979) 曾指出：在科及科以上的水平上，气孔器的结构与系统发

表 3　扫描电镜下无患子科 (及其近缘科) 植物叶表皮的特征

Table 3　Leaf epidermal characters of the Sapindaceae (and the relative families) under SEM

族 Tribe	分类群 Taxon	气孔外拱盖内缘 Inner margin of outer stomatal rim	角质层 Cuticular layer	图版 Plates
Paullinieae	倒地铃 *Cardiospermum halicacabum*	近平滑 nearly smooth	具大量浅波状条纹和少许颗粒 with mass undulate stripes and a few granules	Ⅳ: 72, Ⅴ: 82
Thouinieae	异木患 *Allophylus viridis*	浅波状 undulate	具条纹和颗粒 with stripes and granules	Ⅳ: 62, Ⅴ: 92
	波叶异木患 *A. caudatus*	浅波状 undulate	具鳞片和颗粒 with squama and granules	Ⅴ: 93
Sapindeae	无患子 *Sapindus mukorossi*	浅波状 undulate	具大量穗状条纹 with many fringy stripes	Ⅴ: 94
	川滇无患子 *S. delavayi*	浅波状 undulate	具条纹和少量鳞片 with stripes and a few squama	Ⅴ: 95
Lepisantheae (含 Aphanieae)	赤才 *Erioglossum rubiginosum*	浅波状 undulate	具少量条纹、鳞片和颗粒 with a few stripes, squama and granules	Ⅳ: 56, Ⅴ: 96
	赛木患 *Aphania oligophylla*	浅波状 undulate	近平滑 nearly smooth	Ⅳ: 57, Ⅵ: 97
	鳞花木 *Lepisanthes hainanensis*	近平滑 nearly smooth	具大量圆形隆起 with many rounded apophysis	Ⅳ: 60, Ⅴ: 83
	爪耳木 *Otophora unilocularis*	浅波状 undulate	具颗粒 with granules	Ⅳ: 67, Ⅵ: 98
Nephelieae	龙眼 *Dimocarpus longan*	不详 unknown	上表皮具大量条纹, 下表皮具大量鲜花状隆起 with many stripes on the adaxial epidermis, and many flower-like apophysis on the abaxial epidermis	Ⅳ: 73, 74, 79
	荔枝 *Litchi chinensis*	不详 unknown	上表皮近平滑, 下表皮具大量鲜花状隆起 nearly smooth on the adaxial epidermis, and many flower-like apophysis on the abaxial epidermis	Ⅳ: 75, 76, 80
	韶子 *Nephelium chryseum*	不详 unknown	上表皮具少量条纹和鳞片, 下表皮具大量鲜花状隆起 with a few stripes and squama on the adaxial epidermis, and many flower-like apophysis on the abaxial epidermis	Ⅳ: 77, 78, 81
	绒毛番龙眼 *Pometia tomentosa*	浅波状 undulate	具大量波状条纹和少量颗粒 with many sinuous stripes and a few granules	Ⅳ: 59, Ⅵ: 99
	干果木 *Xerospermum bonii*	浅波状 undulate	近平滑 nearly smooth	Ⅵ: 100
Cupanieae	滨木患 *Arytera littoralis*	近平滑 nearly smooth	具鳞片和颗粒 with squama and granules	Ⅳ: 65, Ⅴ: 84
	海南柄果木 *Mischocarpus hainanensis*	近平滑 nearly smooth	具大量波状条纹和少量颗粒 with many sinuous stripes and a few granules	Ⅴ: 85
	广西檀栗 *Pavieasia kwangsiensis*	近平滑 nearly smooth	具条纹和大量圆形隆起 with stripes and many rounded apophysis etc.	Ⅳ: 61, Ⅴ: 86
	细子龙 *Amesiodendron chinense*	浅波状 undulate	具大量鳞片和颗粒 with many squama and granules	Ⅳ: 64, Ⅵ: 101
	海南假韶子 *Paranephelium hainanensis*	近平滑 nearly smooth	近平滑 nearly smooth	Ⅴ: 87
Koelreuterieae	复叶栾树 *Koelreuteria bipinnata*	近平滑 nearly smooth	具鳞片和颗粒 with squama and granules	Ⅳ: 66, Ⅴ: 88
Dodonaeeae	车桑子 *Dodonaea viscosa*	浅波状 undulate	具条状隆起 with apophysis	Ⅳ: 63, Ⅵ: 102
Harpullieae	掌叶木 *Handeliodendron bodinieri*	浅波状 undulate	具少量条纹和颗粒 with a few stripes and granules	Ⅳ: 70, Ⅵ: 103
	黄梨木 *Boniodendron minus*	近平滑 nearly smooth	具少量条纹和颗粒 with a few stripes and granules	Ⅴ: 89
	伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei*	浅波状 undulate	具大量条纹和颗粒 with many stripes and granules	Ⅳ: 71, Ⅵ: 104
	假山萝 *Harpullia cupaniodes*	浅波状 undulate	近平滑 nearly smooth	Ⅵ: 105
	茶条木 *Delavaya toxocarpa*	近平滑 nearly smooth	具条纹、鳞片和颗粒 with stripes, squama and granules	Ⅳ: 69, Ⅴ: 90
	文冠果 *Xanthoceras sobifolia*	波状 sinuous	具大量条纹 with many stripes	Ⅵ: 111
	七叶树 *Aesculus chinensis*	浅波状 undulate	具大量条纹和颗粒 with many stripes and granules	Ⅳ: 68, Ⅵ: 106
	天师栗 *Aesculus wilsonii*	浅波状 undulate	具条纹、鳞片和颗粒 with stripes, squama and granules	Ⅵ: 107
	锐角槭 *Acer acutum*	近平滑 nearly smooth	具大量波状条纹和少量颗粒 with many sinuous stripes and a few granules	Ⅴ: 91
	樟叶槭 *A. cinnamomifolium*	波状 sinuous	具少量条纹和颗粒 with a few stripes and granules	Ⅵ: 110
	葛萝槭 *A. grosseri*	浅波状 undulate	具大量波状条纹、隆起和少量颗粒 with many sinuous stripes, apophysis and a few granules	Ⅳ: 58, Ⅵ: 108
	金钱槭 *Dipteronia sinensis*	浅波状 undulate	具大量波状条纹、隆起和少量颗粒 with many sinuous stripes, apophysis and a few granules	Ⅵ: 109

育没有直接的相关联系，但在一个限定的分类群中（如1个科或1个属），若结合其他的演化性状，不同的气孔器类型之间可能存在着有意义的联系。Metcalf and Chalk (1950) 将气孔器特征运用到大多数双子叶植物的分类上，他们把叶表皮上的气孔器划分为5类：无规则型、环列型、短平列型、十字型、不等细胞型。在我们所观察的无患子科（及其近缘科）植物中，这5种气孔器类型都有，大多数植物的气孔器为无规则型，环列型（以及辐射型）也较为普遍，短平列型主要存在于赛木患、绒毛番龙眼、干果木、假山萝等植物中，十字型主要存在于广西檀栗中，在赛木患、干果木、海南柄果木中也偶尔可见十字型气孔器，而不等细胞型气孔器则只在倒地铃中出现。

根据叶表皮及其他形态学特征所作的无患子科植物分属检索表

1.气孔器为不等细胞型 …… 1.倒地铃属 *Cardiospermum*
1.气孔器不为不等细胞型。
  2.单叶，互生，无托叶。叶表皮细胞为多边形，气孔器为环列型 …… 2.车桑子属 *Dodonaea*
  2.复叶。
    3.掌状复叶。
      4.叶缘常有锯齿，叶表皮细胞为不规则形。
        5.气孔外拱盖内缘波状或浅波状 …… 3.异木患属 *Allophylus*
        5.气孔外拱盖内缘近平滑 …… 4.茶条木属 *Delavaya*
      4.叶全缘，叶表皮细胞为多边形 …… 5.掌叶木属 *Handeliodendron*
    3.羽状复叶。
      6.奇数羽状复叶。
        7.小叶全缘或有疏齿。
          8.小叶全缘，叶表皮细胞为多边形，气孔器为辐射型 …… 6.爪耳木属 *Otophora*
          8.小叶全缘或有疏齿，叶表皮细胞为不规则形，气孔器为无规则型 …… 7.假韶子属 *Paranephelium*
        7.小叶有锯齿，叶表皮细胞为多边形，气孔器为无规则型。
          9.气孔外拱盖内缘近平滑，角质层具鳞片和颗粒 …… 8.栾树属 *Koelreuteria*
          9.气孔外拱盖内缘波状，角质层具大量条纹 …… 9.文冠果属 *Xanthoceras*
      6.偶数羽状复叶。
        10.下表皮具有大量鲜花状隆起，气孔器为环列型。
          11.叶表皮细胞为多边形，垂周壁平直或弓形 …… 10.荔枝属 *Litchi*
          11.叶表皮细胞为多边形或不规则形，垂周壁平直或浅波状
            12.叶表皮为不规则形，垂周壁浅波状 …… 11.龙眼属 *Dimocarpus*
            12.上表皮细胞为多边形，垂周壁平直；下表皮细胞为不规则形，垂周壁浅波状 …… 12.韶子属 *Nephelium*
        10.下表皮不具鲜花状隆起。
          13.小叶全缘。
            14.叶表皮细胞为多边形。
              15.气孔外拱盖内缘近平滑，角质层具大量隆起 …… 13.鳞花木属 *Lepisanthes*
              15.气孔外拱盖内缘浅波状，角质层不具隆起。
                16.叶表皮细胞为多边形，气孔器为无规则型、短平列型或十字型。
                  17.气孔器为无规则型，角质层具条纹、鳞片和颗粒 …… 14.赤才属 *Erioglossum*
                  17.气孔器为短平列型或十字型，角质层近平滑 …… 15.滇赤才属 *Aphania*
                16.叶表皮细胞为多边形或不规则形，气孔器为辐射型 …… 16.无患子属 *Sapindus*
            14.叶表皮细胞为不规则形。
              18.气孔外拱盖内缘近平滑。
                19.角质层具大量隆起 …… 17.檀栗属 *Pavieasia*
                19.角质层不具隆起。
                  20.气孔器为无规则型。
                    21.角质层具浅波状条纹和颗粒 …… 18.黄梨木属 *Boniodendron*
                    21.角质层具鳞片和颗粒 …… 19.滨木患属 *Arytera*
                  20.气孔器为环列型和十字型 …… 20.柄果木属 *Mischocarpus*
              18.气孔外拱盖内缘波状或浅波状，角质层近平滑。
                22.细胞垂周壁波状，气孔器短平列型兼十字型 …… 21.干果木属 *Xerospermum*

22．细胞垂周壁浅波状，气孔器短平列型兼辐射型…………………………… 22．假山萝属 *Harpullia*
13．小叶有锯齿。
23．角质层具大量鳞片 ……………………………………………………… 23．细子龙属 *Amesiodendron*
23．角质层不具鳞片
24．气孔器为短平列型兼无规则型 ……………………………………………… 24．番龙眼属 *Pometia*
24．气孔器为无规则型 ………………………………………………………… 25．伞花木属 *Eurycorymbus*

3.2 龙眼属、荔枝属和韶子属

值得一提的是，龙眼（*Dimocarpus longan*）、荔枝（*Litchi chinensis*）和韶子（*Nephelium chryseum*）三种植物叶的下表皮上都具有致密的、厚厚的附属物，在扫描电镜下呈鲜花状隆起（图版Ⅳ：73～78），明显不同于所观察的其他类群，以致于难以观察到它们的气孔外拱盖内缘的形状。在气孔器类型上，3 种植物皆为环列型。再结合它们乔木、羽状偶数复叶、花单性、子房倒心形、2 或 3 室、每室 1 胚珠、果深裂为 2～3 果爿，常 1～2 个发育、种皮革质、具肉质假种皮等形态学性状可以看出这 3 属植物在系统上具有非常密切的联系。

3.3 倒地铃的特殊性

无患子科（及其近缘科）植物的气孔器大多数比较密集地分布于下表皮，仅倒地铃属（伞花木有极少数）上表皮分布有稀疏且不均匀的气孔器。此外如前所述，无患子科（及其近缘科）植物的气孔器以无规则型最为常见，环列型和辐射型也较为普遍，少数为短平列型和十字型，只有倒地铃的气孔器为不等细胞型。这些特征说明了倒地铃的特殊性，支持将其作为一个属的处理。

3.4 掌叶木属的系统位置

对掌叶木属（*Handeliodendron*）的系统位置，植物学家一直存在争议。Rehder（1935）发表掌叶木属时将其放在无患子科，并且指出该属掌状复叶对生的特征与七叶树科（Hippocastanaceae）近似，但其他特征与无患子科相似，放入无患子科假山萝族（Harpullieae）更合适。Rehder 的处理得到了一些学者的赞同与认可（罗献瑞和陈德昭，1985；吴征镒等，2003）。也有一些学者指出七叶树科与假山萝族关系密切，并假设它们之间是通过掌叶木属和茶条木属（*Delavaya* Franch.）相联系（Muller and Leenhouts，1976）。Judd 等（1994）在总结前人（Muller and Leenhouts，1976）研究成果的基础上，将七叶树科和槭树科（Aceraceae）并入无患子科，并认为掌叶木属应从假山萝族中移出，而与七叶树属（*Aesculus* L.）和三叶树属（*Billia* Peyr.）组成同一科下类群。Judd 等的观点得到了木材解剖学（Klaassen，1999）、形态学（Forest 等，2001）和分子系统学等研究的支持（Harrington 等，2005）。Harrington 等（2005）基于分子生物学的分析结果，扩大了无患子科的界定范围，把七叶树科和槭树科放进了无患子科，并将掌叶木属和七叶树科、槭树科的成员一切放在七叶树亚科（Hippocastanoideae）中。在 Flora of China 中，Xia 等（2007）将掌叶木属放入了七叶树科。掌叶木属与七叶树科在叶表皮特征上既有共性（气孔外拱盖内缘皆为浅波状，角质层皆有波状条纹）又有差异（掌叶木叶表皮细胞为多边形，气孔器为无规则型；七叶树科叶表皮细胞为不规则形，气孔器为辐射型），将其作为七叶树科（或七叶树亚科）一个独立的属是恰当的。

3.5 鳞花木属、赤才属、滇赤才属和爪耳木属

Leenhouts 于 1970 年对鳞花木属进行了修订，把赤才属等属放入该属，但大部分植物学家并没有认同 Leenhouts 对鳞花木属的处理方式，仍采用狭义鳞花木属的概念（罗献瑞和陈德昭，1985；吴征镒等，2003）。最近，在 Flora of China 中，Xia and Paul（2007）采用了广义鳞花木属的概念，将赤才属、滇赤才属和爪耳木属三属并入其中，这四属植物在叶表皮特征上的确具有不少相同点：叶表皮细胞皆为多边形，细胞垂周壁皆为平直或弓形，气孔外拱盖内缘大多为浅波状等。叶表皮形态特征支持将这四属植物并入一个属的处理。

3.6 无患子科、七叶树科、槭树科的叶表皮特征比较

叶表皮特征在无患子科、七叶树科、槭树科三科间比较稳定，它们之间既存在共性又存在一些差异。

Radlkofer（1890，1931～1934）曾提出一个假设：槭树科和七叶树科与无患子科尤其是假山萝族联系非常紧密，可以把它们作为无患子科的两

个属。他的观点得到 Muller and Leenhouts (1976) 以及 Judd 等 (1994) 的支持。如前所述, Harrington 等 (2005) 基于 *rbc*L 基因和 *mat*K 基因序列的分析结果为这一观点提供了有力的支持。据此, Harrington 等 (2005) 扩大了无患子科的界定范围, 他们把无患子科 (广义) 分成 4 个亚科: 无患子亚科 (Sapindoideae)、车桑子亚科 (Dodonaeoideae)、七叶树亚科 (Hippocastanoideae) (包括狭义的七叶树科、槭树科和掌叶木属) 和只有一个属的文冠果亚科 (Xanthoceroideae)。

无患子科植物 (狭义) 的气孔器主要为无规则型、辐射型和环列型, 而七叶树科植物的气孔器为辐射型, 槭树科植物的气孔器为无规则型和辐射型, 此外, 这三科植物的气孔外拱盖内缘大多为浅波状, 这无疑从叶表皮特征的角度说明了三科植物在系统上存在着比较密切的联系。

致谢 中国科学院华南植物园的徐信兰老师、邵耘老师、胡晓颖老师、邹璞博士, 广西植物研究所的曹明博士在实验过程中给予了大力帮助。

〔参 考 文 献〕

Buijsen JRM, 1995. Leaf anatomy of *Harpullia*, *Majidea*, and *Conchopetalum* (Sapindaceae) [J]. *Blumea*, **40** (2): 345—361

Chen ZD (陈之端), Zhang ZY (张志耘), 1991. A study on foliar epidermis in Betulaceae [J]. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), **29**: 156—163

Dilcher DL, 1974. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains [J]. *Bot Rev*, **40**: 1—157

Fang WP (方文培), 1981a. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Aceraceae [M]. Beijing: Science Press, **46**: 66—273

Fang WP (方文培), 1981b. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Hippocastanaceae [M]. Beijing: Science Press, **46**: 274—289

Forest F, Drouin JN, Charest R *et al.*, 2001. A morphological phylogenetic analysis of *Aesculus* L. and *Billia* Peyr. (Sapindaceae) [J]. *Canadian J Bot*, **79**: 154—169

Harrington MG, Edwards KJ, Johnson SA *et al.*, 2005. Phylogenetic inference in Sapindaceae sensu lato using plastid *mat*K and *rbc*L DNA sequences [J]. *Syst Bot*, **30** (2): 366—382

Hong YP (洪亚平), Pan KY (潘开玉), Chen ZD (陈之端) *et al.*, 2001. Characters of leaf epidermis and their systematic significance in Menispermaceae [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **43** (6): 615—623

How FC (侯宽昭), Ho CN (何椿年), 1955. Sapindaceae in the Chinese Flora [J]. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), **3** (4): 373—414

Judd S, Sanders W, and Donoghue J, 1994. Angiosperm family pairs: preliminary phylogenetic analyses [J]. *Harvard Papers Bot*, **5**: 1—51

Klaassen RK, 1999. Wood anatomy of the Sapindaceae [J]. *IAWA Journal*, **Suppl. 2**: 214

Leenhouts PW, 1970. Additoinal notes on *Lepisanthes* (Sapindaceae) [J]. *Blumea*, **18**: 429—430

Li AH (李爱花), Guan KY (管开云), Wang ZL (王仲朗), 2005. Characters of leaf epidermis in genus *Sauromatum* (Araceae) and it's relative genera [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **27** (6): 629—638

Lu JH (陆嘉惠), Li XY (李学禹), Zhou LL (周玲玲) *et al.*, 2005. Characters of leaf epidermis and their systematic significance in *Glycyrrhiza* [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **27** (5): 525—533

Luo HS (罗献瑞), Chen TC (陈德昭), 1979. Notes on Chinese Sapindaceae [J]. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), **17** (2): 30—39

Luo HS (罗献瑞), Chen TC (陈德昭), 1985. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Sapindaceae [M]. Beijing: Science Press, **47** (1): 4—72

Metcalf CR, Chalk L, 1950. Anatomy of the Dicotyledons [M]. Oxford, **1**: 419—422

Muller J, Leenhouts PW, 1976. A general survey of pollen types in Sapindaceae in relaion to taxonomy [A]. In: Gerguson IK, Muller J, The Evolutionary Significance of the Exine [M]. London: Academic Press, 407—445

Radlkofer L, 1890. Uber die Gliederung der Familie der Sapindaceae [M]. Sitzungsber. Math. Phys. Kl. Bayer. Akad. Wiss. München, **20**: 105—379

Radlkofer L, 1931 - 1934. Sapindaceae [A]. In: Engler A, Das Pflanzenreich [M], IV; Leipig: Engelman, 165

Rehder A, 1935. *Handeliodendron*, a new genus of Sapindaceae [J]. *J Arnold Arboretum Harvard University*, **16**: 65—68

Ren H (任辉), Pan KY (潘开玉), Chen ZD (陈之端) *et al.*, 2003. Structural characters of leaf epidermis and their systematic significance in Vitaceae [J]. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), **41** (6): 531—544

Solereder H, 1908. Systematische Anatomie der Dicotyledonen [M]. Erg nzungsband: Stuttgart, 104—105

Wilkinson HP, 1979. The plant surface (mainly leaf) [A]. In: Metcalf CR, Chalk L eds. Anatomy of the Dicotyledons [M]. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 97—165

Wilkinson HP, 1992. Leaf anatomy of the Pittosporaceae [J]. *Bot J Linnaean Soc*, **110**: 1—59

Wu CY (吴征镒), Lu AM (路安民), Tang YC (汤彦承) *et al.*, 2003. The Families and Genera of Angiosperms in China——A Comprehensive Analysis [M]. Beijing: Science Press, 691—698

Xia NH (夏念和), Luo HS (罗献瑞), 1995. Geographical distribution of Sapindaceae in China [J]. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), **3** (1): 13—28

Xia NH, Nicholas J Turland, Paul A Gadek, 2007. Hippocastanaceae [M]. In Flora of China, (12): 1—4 (online)

Xia NH, Paul A Gadek, 2007. Sapindaceae [M]. In Flora of China (12), 5—24 (online)

Yang DZ (杨冬之), Zhang ZY (张志耘), Wen J (温洁), 2000. Structural characters of leaf epidermis in *Hyoscyameae* (Solanaceae) and their systematic significance [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **42** (2): 133—142

Yang HQ (杨汉奇), Wang H (王红), Li DZ (李德铢), 2006. Micromorphological study on leaf epidermis of *Schizostachyum* and its allies (Poaceae: Bambusoideae) [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **28** (3): 261—267

图版说明

图版Ⅰ：1～19，图版Ⅱ：20～32. 光学显微镜下无患子科、七叶树科以及槭树科植物上表皮的特征（表面观） 1～17，19～23. 细胞无规则形 1. 倒地铃；2. 异木患；3. 波叶异木患；4. 无患子；5. 龙眼；6. 绒毛番龙眼；7. 干果木；8. 滨木患；9. 海南柄果木；10. 广西檀栗；11. 细子龙；12. 海南假韶子；13. 黄梨木；14. 伞花木；15. 假山萝；16. 爪耳木；17. 茶条木；19. 七叶树；20. 天师栗；21. 金钱槭；22. 樟叶槭；23. 赛木患。18，24～32. 细胞多边形。18. 掌叶木；24. 锐角槭；25. 川滇无患子；26. 赤才；27. 鳞花木；28. 荔枝；29. 韶子；30. 复叶栾树；31. 车桑子；32. 文冠果。

图版Ⅱ：33～39，图版Ⅲ：40～55. 光学显微镜下无患子科、七叶树科以及槭树科植物下表皮的特征和气孔器的类型（表面观） 33. 异木患；34. 无患子；35. 赛木患；36. 鳞花木；37. 爪耳木；38. 干果木；39. 海南柄果木；40. 广西檀栗；41. 细子龙；42. 车桑子；43. 掌叶木；44. 假山萝；45. 茶条木；46. 黄梨木；47. 波叶异木患；48. 赤才；49. 滨木患；50. 海南假韶子；51. 伞花木；52. 天师栗；53. 金钱槭；54. 樟叶槭；55. 倒地铃。

图版Ⅳ～Ⅵ：56～111. 扫描电镜下无患子科、七叶树科以及槭树科植物的叶表皮特征 56～78. 上表皮：56. 赤才；57. 赛木患；58. 葛萝槭；59. 绒毛番龙眼；60. 鳞花木；61. 广西檀栗；62. 异木患；63. 车桑子；64. 细子龙；65. 滨木患；66. 复叶栾树；67. 爪耳木；68. 七叶树；69. 茶条木；70. 掌叶木；71. 伞花木；72. 倒地铃；73，74. 龙眼；75，76. 荔枝；77，78. 韶子。79～111. 下表皮：79. 龙眼；80. 荔枝；81. 韶子；82. 倒地铃；83. 鳞花木；84. 滨木患；85. 海南柄果木；86. 广西檀栗；87. 海南假韶子；88. 复叶栾树；89. 黄梨木；90. 茶条木；91. 锐角槭；92. 异木患；93. 波叶异木患；94. 无患子；95. 川滇无患子；96. 赤才；97. 赛木患；98. 爪耳木；99. 绒毛番龙眼；100. 干果木；101. 细子龙；102. 车桑子；103. 掌叶木；104. 伞花木；105. 假山萝；106. 七叶树；107. 天师栗；108. 葛萝槭；109. 金钱槭；110. 樟叶槭；111. 文冠果。

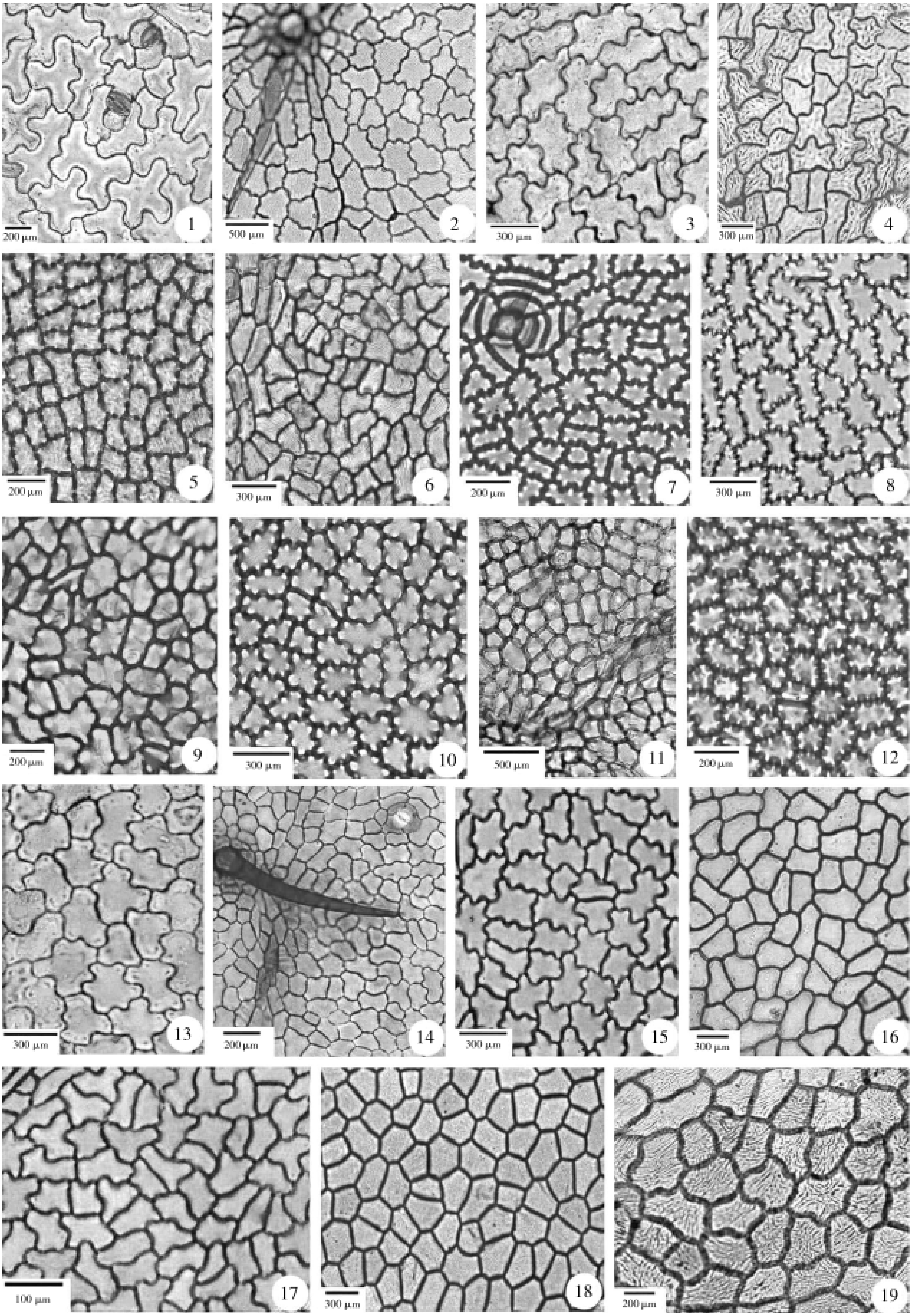
Explanation of Plates

Plate Ⅰ: 1-19, **Plate** Ⅱ: 20-32. LM micrographs of leaf epidermal cells on adaxial epidermis in Sapindaceae, Hippocastanaceae and Aceraceae (surface view) 1-17, 19-23. Stomatal apparatuses anomocytic. 1. *Cardiospermum halicacabum*; 2. *Allophylus viridis*; 3. *Allophylus caudatus*; 4. *Sapindus mukorossi*; 5. *Dimocarpus longan*; 6. *Pometia tomentosa*; 7. *Xerospermum bonii*; 8. *Arytera littoralis*; 9. *Mischocarpus hainanensis*; 10. *Pavieasia kwangsiensis*; 11. *Amesiodendron chinense*; 12. *Paranephelium hainanensis*; 13. *Boniodendron minus*; 14. *Eurycorymbus cavaleriei*; 15. *Harpullia cupaniodes*; 16. *Otophora unilocularis*; 17. *Delavaya toxocarpa*; 19. *Aesculus chinensis*; 20. *Aesculus wilsonii*; 21. *Dipteronia sinensis*; 22. *Acer cinnamomifolium*; 23. *Aphania oligophylla*. 18, 24-32. Stomatal apparatuses polygonal. 18. *Handeliodendron bodinieri*; 24. *Acer acutum*; 25. *Sapindus delavayi*; 26. *Erioglossum rubiginosum*; 27. *Lepisanthes hainanensis*; 28. *Litchi chinensis*; 29. *Nephelium chryseum*; 30. *Koelreuteria bipinnata*; 31. *Dodonaea viscosa*; 32. *Xanthoceras sobifolia*.

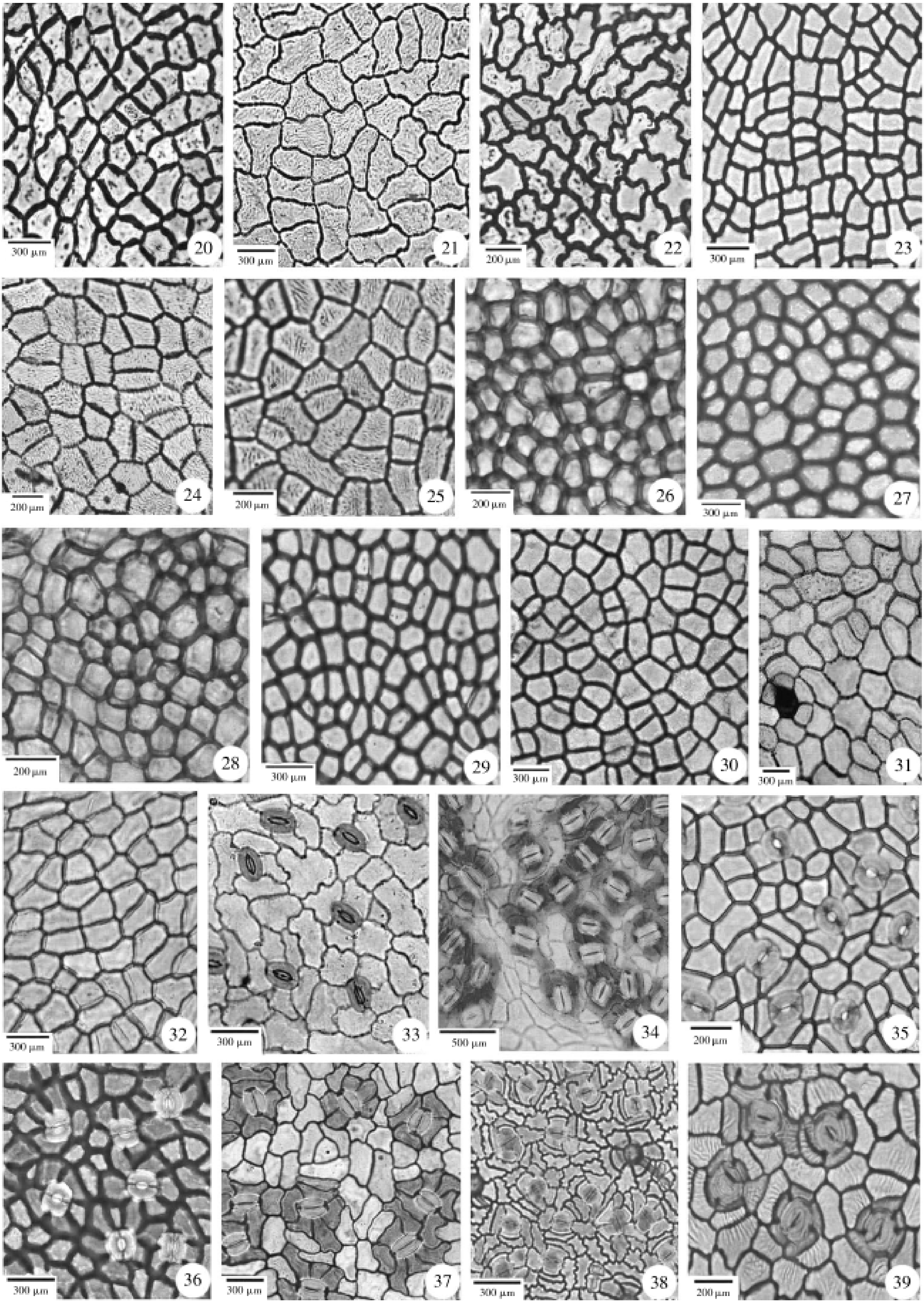
Plate Ⅱ: 33-39, **Plate** Ⅲ: 40-55. LM micrographs of epidermal cells and stomatal apparatuses on abaxial epidermis in Sapindaceae, Hippocastanaceae and Aceraceae (surface view) 33. *Allophylus viridis*; 34. *Sapindus mukorossi*; 35. *Aphania oligophylla*; 36. *Lepisanthes hainanensis*; 37. *Otophora unilocularis*; 38. *Xerospermum bonii*; 39. *Mischocarpus hainanensis*; 40. *Pavieasia kwangsiensis*; 41. *Amesiodendron chinense*; 42. *Dodonaea viscosa*; 43. *Handeliodendron bodinieri*; 44. *Harpullia cupaniodes*; 45. *Delavaya toxocarpa*; 46. *Boniodendron minus*; 47. *Allophylus caudatus*; 48. *Erioglossum rubiginosum*; 49. *Arytera littoralis*; 50. *Paranephelium hainanensis*; 51. *Eurycorymbus cavaleriei*; 52. *Aesculus wilsonii*; 53. *Dipteronia sinensis*; 54. *Acer cinnamomifolium*; 55. *Cardiospermum halicacabum*.

Plate Ⅳ-Ⅵ: 56-111. Characters of the leaf epidermis under SEM in Sapindaceae, Hippocastanaceae and Aceraceae 56-78. Adaxial epidermis: 56. *Erioglossum rubiginosum*; 57. *Aphania oligophylla*; 58. *Acer grosseri*; 59. *Pometia tomentosa*; 60. *Lepisanthes hainanensis*; 61. *Pavieasia kwangsiensis*; 62. *Allophylus viridis*; 63. *Dodonaea viscosa*; 64. *Amesiodendron chinense*; 65. *Arytera littoralis*; 66. *Koelreuteria bipinnata*; 67. *Otophora unilocularis*; 68. *Aesculus chinensis*; 69. *Delavaya toxocarpa*; 70. *Handeliodendron bodinieri*; 71. *Eurycorymbus cavaleriei*; 72. *Cardiospermum halicacabum*; 73, 74. *Dimocarpus longan*; 75, 76. *Litchi chinensis*; 77, 78. *Nephelium chryseum*. 79-111. Abaxial epidermis: 79. *Dimocarpus longan*; 80. *Litchi chinensis*; 81. *Nephelium chryseum*; 82. *Cardiospermum halicacabum*; 83. *Lepisanthes hainanensis*; 84. *Arytera littoralis*; 85. *Mischocarpus hainanensis*; 86. *Pavieasia kwangsiensis*; 87. *Paranephelium hainanensis*; 88. *Koelreuteria bipinnata*; 89. *Boniodendron minus*; 90. *Delavaya toxocarpa*; 91. *Acer acutum*; 92. *Allophylus viridis*; 93. *Allophylus caudatus*; 94. *Sapindus mukorossi*; 95. *Sapindus delavayi*; 96. *Erioglossum rubiginosum*; 97. *Aphania oligophylla*; 98. *Otophora unilocularis*; 99. *Pometia tomentosa*; 100. *Xerospermum bonii*; 101. *Amesiodendron chinense*; 102. *Dodonaea viscosa*; 103. *Handeliodendron bodinieri*; 104. *Eurycorymbus cavaleriei*; 105. *Harpullia cupaniodes*; 106. *Aesculus chinensis*; 107. *Aesculus wilsonii*; 108. *Acer grosseri*; 109. *Dipteronia sinensis*; 110. *Acer cinnamomifolium*; 111. *Xanthoceras sobifolia*.

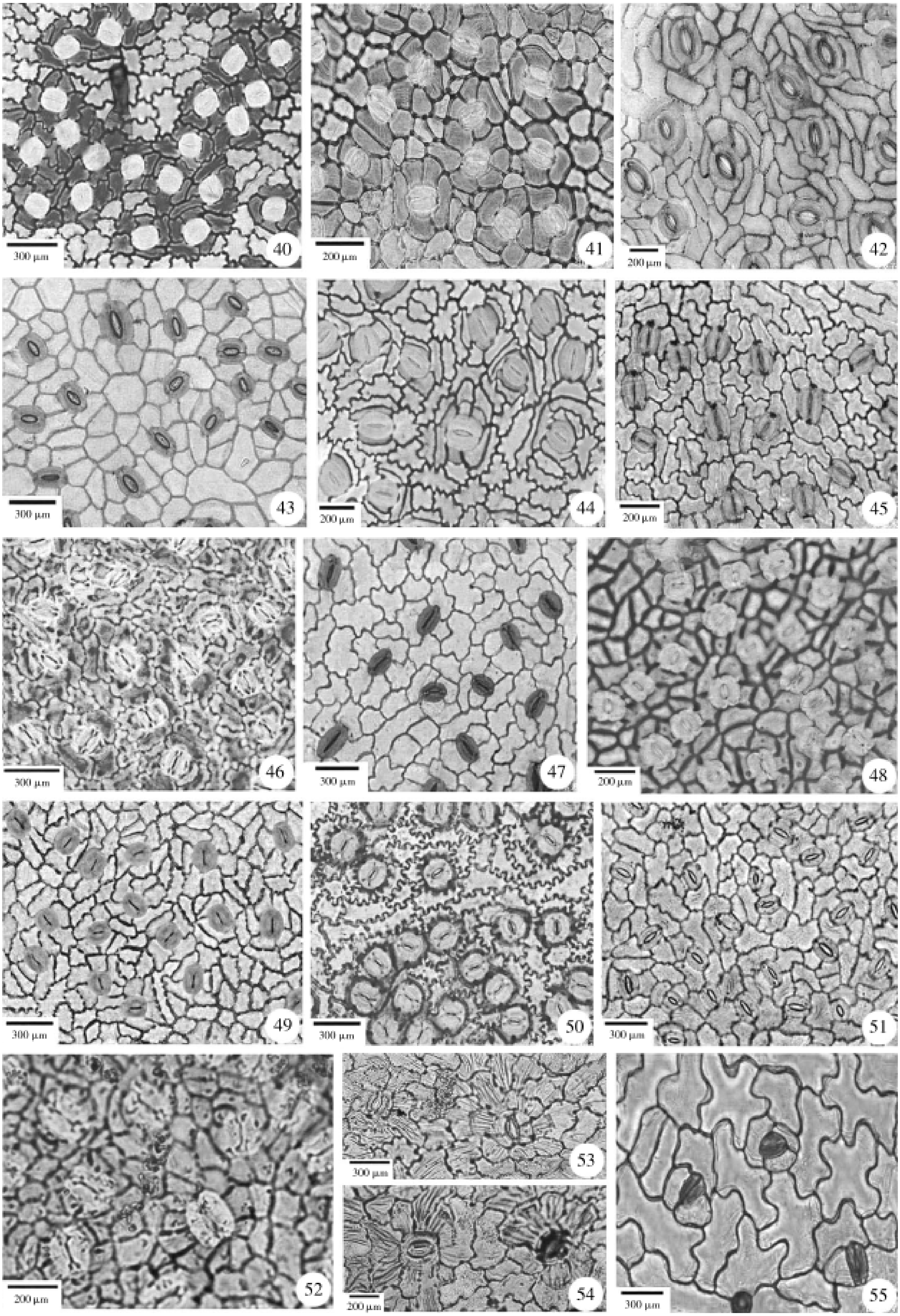
曹丽敏等: 图版 I CAO Li-Min *et al*.: Plate I



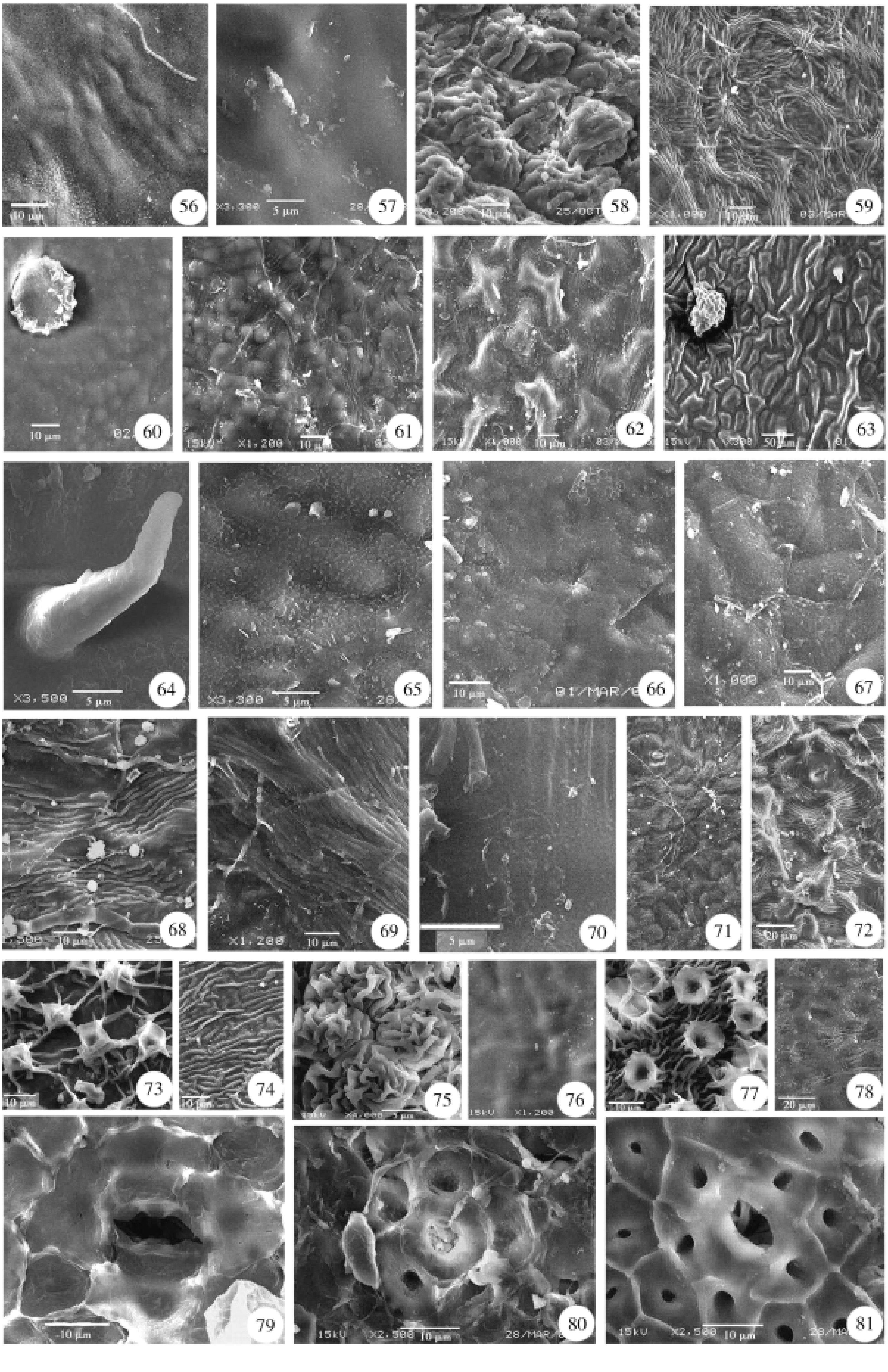
曹丽敏等：图版Ⅱ　　　　CAO Li-Min *et al*.: Plate Ⅱ



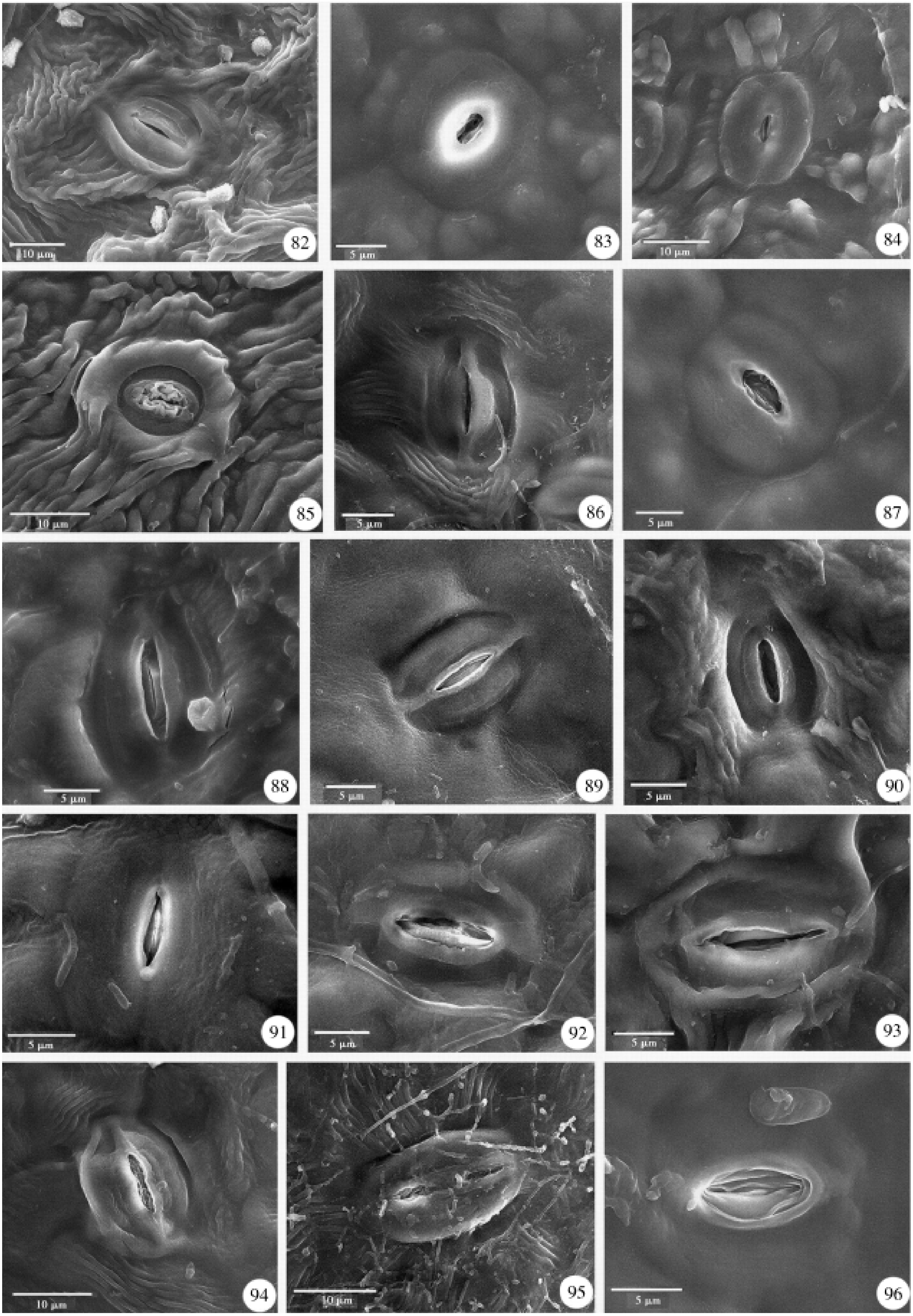
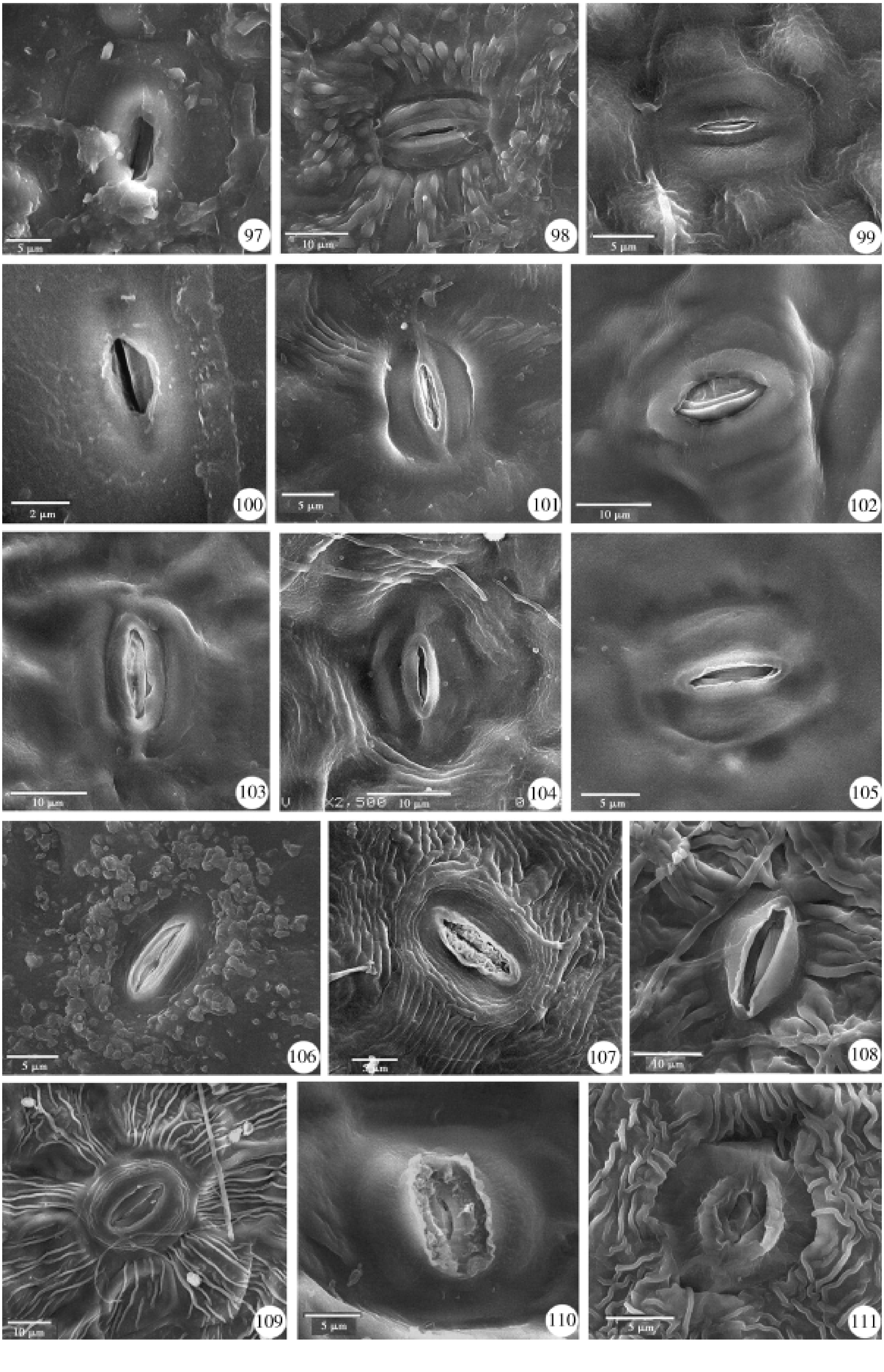
曹丽敏等：图版Ⅲ CAO Li-Min *et al.*: Plate Ⅲ



曹丽敏等：图版Ⅳ　　CAO Li-Min *et al*.: Plate Ⅳ



曹丽敏等: 图版 V CAO Li-Min *et al*.: Plate **V**



曹丽敏等：图版VI CAO Li-Min *et al*.: Plate **VI**